

氏名・(本籍)	アプリリア Aprilia
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	理博第2591号
学位授与年月日	平成22年11月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科(博士課程)天文学専攻
学位論文題目	The non-adiabatic analysis of the non-radial oscillations of intermediate-mass stars with uniform rotation (剛体的自転する中質量星の非動径振動の非断熱解析)
論文審査委員	(主査) 教授 齋尾英行 教授 二間瀬敏史 准教授 李宇珉 助教 吉田至順

論文目次

- 1 Introduction
 - 1.1 Propagation Diagram
 - 1.2 Variable B-type Main Sequence Stars
 - 1.3 Excitation Mechanism
 - 1.4 Effect of Rotation
 - 1.4.1 Rotation Effect on the Oscillation Amplitude
 - 1.5 Observed Properties of Oscillation in Rotating Stars
 - 1.6 Outline of the Thesis
- 2 Method of the Linear Non-adiabatic Analysis for the Oscillations of Uniformly Rotating Stars
 - 2.1 Equations of Non-radial Oscillations
 - 2.2 Non-radial Oscillations with Rotation Effects
- 3 Stability of Pulsations in Intermediate-mass Stars
 - 3.1 Without Rotation
 - 3.2 Effect of Slow Rotation
 - 3.3 Effect of Rapid Rotation
- 4 Asymptotic Analysis of Non-radial Oscillations of Uniformly Rotating Stars
 - 4.1 Dispersion Relations with Traditional Approximation
 - 4.2 Dispersion Relations Including Coupling Effects
- 5 Conclusions

A Matrices Used in Equations (2.53)–(2.58)

B Tables of Data

論 文 内 容 要 旨

Low-frequency non-radial g -modes with low-degree of spherical harmonic l are believed to be responsible for the periodic variability observed in the Slowly Pulsating B (SPB) stars, the variable B2-B9 stars with mass range 3 - 8 M_{\odot} and pulsation period of 0.5 - 5 days. Since these stars are identified to be slow rotators with $v \sin i < 100$ km/s as well as fast rotators with $v \sin i > 200$ km/s, thus it is important to examine the effect of rotation on g -mode pulsations in the SPB stars.

We examine the effect of rotation on the pulsation stability of low- l g -modes in these SPB stars, by analyzing the eigenfrequencies of the non-adiabatic non-radial oscillations by taking account the effects of the Coriolis force and the rotational deformation of the equilibrium structure assuming uniform rotation. We find that slow rotation contributes to the destabilization of the low-frequency low-degree l retrograde g -modes. As rotation speed increases, it is found that the stability of a g -mode steeply changes in narrow ranges of Ω (angular frequency of rotation). Such stability changes occur often when the ratio of Ω to the pulsation frequency is larger than above 0.5. We have found that mode couplings between two modes cause these rapid changes of stability. A mode coupling occurs when the frequency of a mode is close to the frequency of another mode associated with a different degree l (the two modes with different l are no longer independent of each other in the presence of rotation). The mode crossing might result in an avoided crossing in which the mode properties are exchanged, or a crossing only, depends on the strength of coupling between the modes. Calculating the coupling constant representing the coupling strength between g -modes from the asymptotic analysis applied to the non-adiabatic non-radial oscillations, we find that as rotation rate increases, the coupling effect becomes stronger, the avoided crossings tend to occur frequently, especially for low- l g -modes, particularly for retrograde modes. Since the rotational coupling causes the stability of the modes exchanged at the crossing, as rotation rate increases, the retrograde g -modes tend to be stabilized via mode couplings. This explains the behavior of the imaginary part of oscillation frequencies in rapid rotation which also explains the stability of g -modes in relatively rapidly rotating stars.

論文審査の結果の要旨

Aprilia 提出の博士論文「The non-adiabatic analysis of the non-radial oscillations of intermediate-mass stars with uniform rotation (剛体的自転する中質量星の非動径振動の非断熱解析)」は、自転する中質量星（太陽質量の3～8倍）で起こるg-モード固有振動の励起が恒星自転によってどのように影響を受けるかを明らかにした論文である。

中質量主系列星では、温度が約20万度の層での鉄の内核電子の電離に伴う光の不透明度の増加が原因で（カップ・メカニズム）、周期が1～数日のg-モード固有振動が励起されることが知られており、実際それらが起こす光度変化および表面視線速度の変化が観測されている。これらの星の中には、振動周期と同程度の周期で自転している星があり、それらの星ではg-モード固有振動の性質およびその励起が自転によって大きく変化を受ける。コリオリ力のために振動固有関数の緯度・方位角依存性は単独ではなく多くの球面調和関数の重ね合わせで表す事が必要となり、そのため、表面波数の異なるモード間の相互作用が可能となる。

Aprilia 提出の博士論文では、コリオリ力、遠心力の効果を考慮した数値計算により、g-モード振動の固有振動数と固有関数を恒星自転の角速度の関数としてほぼ連続的に求めた。その結果、自転角振動数とg-モード振動数の比が0.5よりも大きくなると、振動モードの励起・減衰を表す固有振動数の虚数部が、自転角速度の関数として多くの鋭いピークを持つ事を見いだした。それらのピークは、表面波数の異なる二つのg-モードの振動数がほぼ同じ、つまり、その二つのg-モード振動数が恒星自転速度の変化に伴って交差する際に起こる。このような他のg-モード振動との「交差」が自転角速度の関数として頻繁に起こり、固有振動数虚数部が多くのピークを持つこととなる。これは、カップ・メカニズムによって励起されたg-モードが、他の励起されないg-モードとの相互作用によって強い減衰を受ける事を表している。この相互作用の性質を調べるために、回転系でのg-モード振動に対する断熱漸近解析を非断熱に拡張した。それにより、二つのg-モードに対する分散関係式に現れるカップリング係数の大きさによって、モード交差におけるモード安定性変化の形態の違いが理解できる事を明らかにした。このように、自転星におけるg-モード振動の性質を明らかにした博士論文はApriliaが自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、Aprilia 提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。